

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2002-134816

(P 2002-134816A)

(43) 公開日 平成14年5月10日 (2002.5.10)

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

ターコット\* (参考)

H 0 1 S 3/05

H 0 1 S 3/05

5F072

審査請求 未請求 請求項の数 1 1

OL

(全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2001-270443 (P2001-270443)

(22) 出願日 平成13年9月6日 (2001.9.6)

(31) 優先権主張番号 00810810.2

(32) 優先日 平成12年9月8日 (2000.9.8)

(33) 優先権主張国 欧州特許庁 (E P)

(71) 出願人 501251079

ユニフェルシテット ベルン

スイス国, ツェーハー 3012 ベルン, ホ

ッホシュールシュトラッセ 4

(72) 発明者 マルク シュミット

スイス国, ツェーハー 3004 ベルン, ラ

イヒエンバッハシュトラッセ 75

(72) 発明者 トマス グラフ

スイス国, ツェーハー 3322 ウルターネ

ン, ソロトゥルンシュトラッセ 54

(74) 代理人 100064447

弁理士 岡部 正夫 (外11名)

Fターム (参考) 5F072 AB02 AK01 JJ05 KK06 KK12

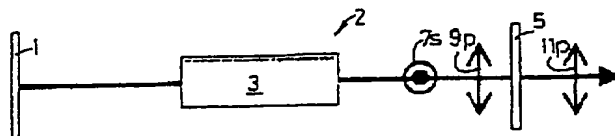
KK30

(54) 【発明の名称】 偏光されるレーザ放射を生成するためのレーザ共振器

(57) 【要約】

【課題】 高い効率を有し、調整簡単で、かつ、すぐれた放射安定性をもつ、偏光放射を生成するための簡単なレーザ共振器を提供する。

【解決手段】 レーザ共振器の活性媒質 (19) は熱誘導される複屈折を呈し、レーザ共振器 (15) において振動する放射フィールド (23 s, 25 p) は偏光選択されず、放射フィールド (23 s, 25 p) からは望ましい偏光状態 (p) の放射フィールド (11 p, 27 p, 46 p, 49 p) だけが部分的に分離される。高反射する共振器鏡 (17)、放射出力装置 (20) および、熱誘導される複屈折を呈する活性媒質 (19) が使用される。放射分離装置 (20) は、レーザ放射から、共振器 (15) において振動可能な放射フィールド (23 s, 25 p) の規定された偏光 (27 p) だけが、規定の分離度 (T<sub>p</sub>) で共振器 (15) から部分的に分離されており、別の偏光がなされた放射フィールドのすべて、および部分的に分離可能な放射フィールドで残った部分が許容限度まで完全に反射されて共振器 (15) に残るように構成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 活性媒質 (3 ; 19 ; 33 ; 52) が熱誘導される複屈折を呈するレーザ共振器 (2, 15, 30 ; 53) によって偏光されるレーザ出力放射 (11 p ; 27 p ; 46 p, 49 p) を生成するための方法であって、レーザ共振器 (2, 15, 30 ; 53) において振動する放射フィールド (7 s, 9 p ; 23 s, 25 p ; 47 s, 45 p) が 2 つの共振器鏡のうちの少なくとも 1 つを通るだけで偏光選択され、放射フィールド (7 s, 9 p ; 23 p, 25 p ; 47 s, 45 p) から、望ましい偏光状態 (p) を有する放射フィールド (11 p ; 27 p ; 46 p ; 49 p) だけが部分的に分離されることを特徴とする方法。

【請求項 2】 共振器 (2, 15, 30 ; 53) において振動する放射フィールド (7 s, 9 p ; 23 s, 25 p ; 47 s, 45 p) の間でエネルギー移動がなされることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】 エネルギー移動が規定の偏光方向での位相遅延で行われることを特徴とする請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】 共振器内で振動可能な放射フィールドのうちで、活性媒質の熱誘導される複屈折によって偏光解消されない放射フィールドだけが、ある分離度まで戻し結合されることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】 請求項 1-請求項 3 記載の方法において、高反射の共振器鏡 (1 ; 17 ; 31 ; 57)、放射分離装置 (5 ; 20 ; 37 ; 50, 55) および、熱複屈折を呈する活性媒質 (3 ; 19 ; 33 ; 52) によって偏光されるレーザ出力放射 (11 p ; 27 p ; 46 p, 49 p) を生成するためのレーザ共振器 (2, 15, 30 ; 53) であって、放射分離装置 (5 ; 20 ; 37 ; 50, 55) は、共振器 (2, 15, 30 ; 53) において振動可能な放射フィールド (7 s, 9 p ; 23 s, 25 p ; 47 s, 45 p) のうちで規定の偏光状態ないし規定の偏光分布 (11 p ; 27 p ; 46 p, 49 p) だけが、規定の分離度 ( $T_p$ ) で共振器 (2, 15, 30 ; 53) から部分的に分離可能であり、別の偏光がなされた放射フィールドと、部分的に分離可能な放射フィールドのうちの残り成分は、許容限度まで共振器 (2, 15, 30 ; 53) において完全に反射されて残るように構成されていることを特徴とするレーザ共振器 (2, 15, 30 ; 53)。

【請求項 6】 共振器 (2, 15, 30 ; 53) には少なくとも 1 つの光学エネルギー移動要素 (3 ; 21, 19 ; 33, 35 ; 52, 54, 55) があり、これは共振器 (2, 15, 30 ; 53) における、さまざまに偏光される放射フィールド (7 s, 9 p ; 23 s, 25 p ; 47 s, 45 p) の間での無視できないエネルギー移動に作用することを特徴とする請求項 5 記載のレーザ共振器。

【請求項 7】 放射分離装置 (5 ; 20 ; 37 ; 50, 55) が分離鏡 (5 ; 20 ; 37 ; 50) を呈し、この鏡は共振器 (2, 15, 30 ; 53) の放射フィールドの規定された偏光分布 (p) だけを規定の透過率

( $T_p$ ) で透過し、好適には、同じ 2 つの共振器鏡相互間ですべての放射フィールド (7 s, 9 p ; 23 s, 25 p ; 47 s, 45 p) が振動することを特徴とする請求項 5 または請求項 6 記載のレーザ共振器 (2, 15, 30 ; 53)。

【請求項 8】 エネルギー移動要素 (3, 19 ; 33 ; 52) が複屈折を呈し、特に、共振器 (2, 15, 30 ; 53) において振動する放射フィールドに関して熱誘導される複屈折を呈することを特徴とする請求項 6 記載のレーザ共振器 (2, 15, 30 ; 53)。

【請求項 9】 エネルギー移動要素が、共振器において振動可能な放射フィールドの偏光状態に関して位相遅延作用を呈し、好適に、 $\lambda/4$  プレート (21 ; 35 ; 54) として構成されていること、ないしその光学作用を示すこと、または特にファラデー・ローテータとして構成されていること、ないしその光学作用を示すことを特徴とする請求項 6 記載のレーザ共振器 (15, 30 ; 53)。

【請求項 10】 放射分離装置が、好適には、共振器 (53) において振動可能な放射フィールドの周波数増加を行う非線形の光学要素 (55) と、周波数増加された放射だけを規定の透過率で完全に透過する分離鏡 (50) とを有することを特徴とする請求項 9 記載のレーザ共振器 (53)。

【請求項 11】 請求項 1 または請求項 4 記載の方法に従って、高反射する共振器鏡 (1)、分離共振器鏡 (5) および熱誘導される複屈折を呈する活性媒質 (3) により、偏光レーザ出力放射を生成するためのレーザ共振器 (2) であって、両方の共振器鏡 (1) のうちの少なくとも 1 つが、ある偏光分布のある放射フィールドだけを反射し、この放射フィールドは活性媒質 (3) を通過する際に偏光解消は行わず、その他の偏光状態の放射フィールドをすべて反射しないか、または振動するには不十分なわずかな部分のみを反射し、それによって共振器 (2) では、別の偏光状態のその他の放射フィールドは振動できないことを特徴とするレーザ共振器。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、請求項 1 記載の偏光されるレーザ放射を生成するための方法および請求項 5 ないし請求項 11 の前文記載の偏光されるレーザ放射を生成するためのレーザ共振器に関する。

【0002】

【従来の技術】 共振器鏡は、鏡の間で放射フィールドが振動する鏡を意味する。それぞれのオッシレータは、基

本的に高反射鏡と、若干反射率の低い分離鏡を有し、この鏡を経て、放射フィールドの一部がさまざまな目的のために分離される。放射の方向転換またはその他の目的のための共振器内部の鏡は、本明細書では共振器鏡とはみなさない。

【0003】偏光状態ないし偏光分布とは、記載されている本発明の方法ないし本発明のレーザ共振器においては、線形で、リンク状の偏光を意味する。これには、放射状に進むか、または調節される偏光状態、および、特にシリンダ対称でポンピングされ、熱で複屈折するレーザロッドの場合に生じることがあるような、正接で進むか、または調節される偏光状態も含まれる。その他に、放射断面を経て、任意に局部的に変化する偏光方向も含まれる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】高い効率を有し調整が簡単で、かつ、すぐれた放射安定性をもつ偏光放射を生成するための簡単なレーザ共振器を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の課題は、レーザ共振器において振動する放射フィールドから、規定された偏光分布を有する放射フィールド（放射）だけを部分的に分離することによって解決される。残りの放射は、部分的に分離され、共振器に残っている成分をも含めて、共振器に残って振動している。このために、高反射する共振器鏡と放射分離装置および活性媒質を有するレーザ共振器が使用される。放射分離装置は、1つの規定された偏光だけ、特に、共振器の中で振動し、任意の偏光を呈す放射フィールドからの唯一の偏光を、規定の分離度で、共振器から分離できるように構成されている。別の偏光のなされた放射フィールド、および部分的に分離され残っている放射フィールドは、完全に許容限度まで反射しつつ共振器に残っている。

【0006】好適に、2つの共振器鏡の間でレーザ共振器の全体の放射フィールドが振動する。レーザ共振器の放射フィールド間で、好適にエネルギー移動が行われる。こうしたエネルギー移動は、位相遅延によって規定の偏光方向で行うことができる。エネルギー移動要素になりうるのは複屈折する要素、好適には、熱複屈折のレーザ水晶、 $\lambda/4$ プレートまたはファラデー・ローテータである。別の挿入物については以下で言及する。

【0007】放射分離のために共振器における非線形の光学要素も使用できる。その要素で周波数を増加することができる。分離鏡は、好適には、周波数が増加した放射だけを透過する。

【0008】これまで知られていた、好適に高出力レーザで使用されているような熱誘導される複屈折の固体レーザ媒質を有するレーザ共振器では、そうした熱誘導される複屈折を補償するために大きな努力が払われた。熱

誘導の複屈折する活性媒質を有する既知のレーザ共振器に対して、本発明は別の方法を提案する。本発明では熱誘導の複屈折を補償する必要はない。反対に複屈折が利用される。いくつかの実施形態で、熱誘導の複屈折の活性固体媒質などが、共振器のさまざまなに偏光された放射フィールドの間のエネルギー移動のための要素として利用される。ある実施形態では、共振器の全体の放射フィールドが戻り反射されること、および、望ましい偏光状態ないし望ましい偏光分布を有する放射フィールドだけが規定の透過率で分離されることに留意されたい。

【0009】活性媒質の熱誘導の複屈折が、共振器の光学要素によって補償される光学共振器は、例えば、N. Hodgson、H. Weber 著の「光学共振器」298ページ以降（スプリング出版、1997年）、および DE-A 44 15 511 に記述されている。

【0010】本発明では、規定された複数の偏光方向をも分離できる。好適には、1つだけに限定する。

【0011】本発明の放射分離装置は、好適には、1つの分離鏡を有しており、この鏡は規定された偏光状態ないし偏光分布、および規定された波長を有するレーザ放射だけを規定された透過率で透過する。こうした鏡は、例えば、Rong-Chung Tyan, Pang-Chen Sun, Axel Scherer および Yeshayahu Fainman 共著の「形態複屈折の多層格子の異方性スペクトル屈折特性に基づくビームスプリッタの偏光」、光学レターズ、21巻、10号、1996年5月15日、761～763ページ、および N. Bel'tyogov 他共著「SPIE」1782号、1992年、206～212ページに記載されている。その他にこうした鏡は PCT/EP00/07540 にも記載されている。

【0012】放射分離装置として非線形の光学要素も使用でき、これは、好適に、共振器において振動可能な放射フィールドの周波数増加を行う。分離鏡としては、周波数増加した放射フィールドの1つだけを規定の透過率で完全に透過する鏡を使用する。

【0013】レーザ共振器の放射フィールド間のエネルギー移動のためには、先に述べたように、複屈折の光学要素、特に熱誘導複屈折の光学要素を使用する。つまりエネルギー移動のために固体レーザでは、例えば、熱誘導複屈折のレーザ水晶が活性媒質になりうる。

【0014】エネルギー移動要素は、共振器における振動可能な放射フィールドに関して位相遅延（位相回転）を行うことができ、好適には、 $\lambda/4$ プレートとして構成され、その光学作用を示すことができる。ファラデー・ローテータとして構成することもできる。

【0015】以下に説明する理論が示すように、本発明のレーザ共振器では、共振器放射フィールドの共振器回転につき30%以上の偏光解消率が得られる。一般に熱誘導の複屈折は、高出力レーザ水晶では強い結合を作り

出す。偏光解消が少ないポンピング出力の場合は、「充分な」偏光解消は $\lambda/4$ プレート、ファラデー・ローターなどの追加要素によって得られる。

【0016】但し、共振器における振動可能な放射フィールドからも、活性媒質の熱誘導の複屈折によって偏光解消されないような放射フィールドだけを、ある分離度になるまで戻し結合できる。この場合、2つの共振器鏡のうちの少なくとも1つが、ある偏光分布を有する放射フィールドだけを反射し、それらのフィールドは活性媒質を通過する際に偏光解消されず、別の偏光状態の放射フィールドは反射しないか、または振動するには不十分なわずかな割合で反射するために、共振器では別の偏光状態を有するその他の放射フィールドが振動することは不可能である。こうした鏡被覆によって、高反射する鏡または分離鏡または両方の鏡をも（但し、これに利点はない）取りつけることができる。

【0017】本発明のレーザ共振器ないしその実施形態の変更によって、良好な放射品質を伴う高出力レーザを製造できる。良好な放射品質、例えば、リンク状の偏光を伴う放射品質を、例えば、材料切断のための産業用レーザに利用できる。以下に、本発明の方法ないしレーザ共振器の実施形態を記号を用いて詳しく説明する。本発明の利点は明細書本文から明らかになる。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】図1に示すレーザ共振器2は、高反射鏡1（100%鏡と呼ばれることもある）、活性媒質3および放射分離装置5を有する。活性媒質3はNd:YAGレーザ水晶であり、直径4mm、長さ28.8mmである。高反射鏡1と分離装置5の間に設けられている。レーザ水晶3は、波長 $\lambda_p = 809\text{nm}$ で6個のレーザダイオードの長さ10mmを経て横にポンピングされる。生成されたレーザ波長は $\lambda_s = 1.064\mu\text{m}$ である。レーザ水晶3とポンピングされたレーザダイオードの配列で構成されるレーザヘッドは、例えば、A. Lucianetti他との共著の「Ndドープされたコアを有する横にポンピングされた合成YAGロッドの熱光学特性」、量子エレクトロニクスIEEEジャーナル、36号、220~227ページ（2000年2月）に記載されている。

【0019】高反射する鏡1は、生成すべきレーザ放射 $\lambda_s = 1.064\mu\text{m}$ の波長についてはできるだけ高い反射率、つまり許容限度100%までの反射率を有する。分離装置5は1つの偏光する鏡で構成される。レーザ共振器2では、過渡状態で多くの放射フィールド（ある程度の前提条件があればモードとしても表現できる）が考えられるすべての偏光方向ないし状態で振動する。図1には、符号面に対して垂直に振動する7sとそれに平行に振動する放射フィールド9pだけが示されている。その他のすべての放射フィールドはこの方向でベクトルで分光できる。偏光する鏡5は、すべての放射フィ

ールドに関して、符号面に平行な偏光9pで、反射率1（許容限界を含む）を有するように構成される。つまりこれらの放射フィールドは完全に戻り反射される。しかし平行偏光した放射フィールド9pのエネルギーの一部は、鏡5を放射11として透過する。鏡5の透過率は以下の実施形態に応じて、レーザ水晶3の増幅、ないしポンピング出力に適合させる。

【0020】高反射の鏡1と偏光鏡5の間隔1cは210mmである。レーザ水晶3と高反射鏡1の間隔は60mm、偏光鏡5との間隔は35mmである。

【0021】図2に示した共振器15は図1の共振器2に類似し、高反射鏡17、活性媒質としての熱複屈折するレーザ水晶19、および放射分離装置としての偏光鏡20を有する。その他に共振器15は $\lambda/4$ プレート21を有する。 $\lambda/4$ プレート21の光学軸はここでは符号面に平行に振動する放射フィールドの方向に対し45°の位置にある。 $\lambda/4$ プレート21は、レーザ共振器15の放射フィールドの偏光を、リンク状に偏光する放射フィールドを一回通るときに、および高反射鏡17で全体反射した後に戻るときに、進行する放射フィールドに対し90°回転している線形偏光する放射フィールドに変える。符号面に平行に偏光されて振動する放射pは、垂直に振動する放射sに転換される。図1と同様にここでも垂直な偏光方向s（符号面に垂直に振動する放射フィールドないしこの方向に分光可能な放射ベクトルを呈する放射）は、23sで表示され、90°回転し、平行な偏光方向pは25pで表わされている。偏光鏡20を経て、例えば、規定された透過率0.2で1つの平行な偏光pだけを呈する出力放射27pが生じる。

【0022】レーザ共振器15での異なる偏光方向で振動する放射フィールド（モード）間のエネルギー移動は、ここでは $\lambda/4$ プレート21を経て行われ、レーザ水晶19が複屈折している場合は、レーザ水晶19と $\lambda/4$ プレート21を経て行われる。レーザ水晶の弱い熱複屈折、例えば、弱いポンピングの場合の熱複屈折は、共振器の偏光状態を変化させる構成要素、ここでは $\lambda/4$ プレート21によってサポートされる。

【0023】図3の共振器30は図2の共振器15に類似し、高反射鏡31、活性媒質となるレーザ水晶33、および $\lambda/4$ プレート35を有しており、これらの作用は $\lambda/4$ プレート21の作用に似ている。放射分離装置としてここでは上部表面への誘電層のある傾斜した光学要素37と、もう一つの高反射鏡39が設けてある。光学要素37は、レーザ放射に関しては透明なプレーンパラレルな物体である。これは光学的な共振器軸41に対して角度 $\psi$ で傾斜しており、レーザ水晶33に向いている上部表面43には1つの誘電的なレイヤ44があり、レイヤは図に示すように、符号面に対して平行に、1つの偏光された放射フィールド45pを望ましい分離度に応じて、例えば、0.12の透過率で透過する。垂直に

偏光される放射フィールド 47s はほぼ完全に反射され、高反射する鏡 39 を経てそれ自体に戻り反射する。しかし符号面に平行に偏向される放射の 12% だけが出力放射 46 として、p 偏光 46p で取り除かれたので、残りの 88% は反射され、鏡 39 から戻り反射し、光学要素 37 は 12% を第二の出力放射 49 として、同様に p 放射 49p で透過する。両方の出力放射 46 と 49 は、好適に、異なる進行時間（鏡 39 と光学要素 37 の間隔の 2 倍）を考慮して、ただ 1 つの放射にコヒーレントに重ねられる。

【0024】ここでも全体の共振器放射フィールドが、ただ 1 つの光学共振器を振動させる（＝唯一の等価式）。つまり高反射する鏡 31-λ/4 プレート 35-レーザ水晶 33-光学要素 34-高反射鏡 39 となり、再び戻る。

【0025】図 4 の共振器 53 は、図 2 に似ており、活性媒質になるレーザ水晶 52、λ/4 プレート 54、分離鏡 50 および高反射鏡 57 を有する構成になっている。もちろん追加要素として、非線形に作用する光学要素 55 を有し、それによって周波数倍増を行うことができる。分離鏡 50 は「周波数倍増された」放射を通過させるが「倍増されない」放射は通過させない。

【0026】このようにして、熱誘導され複屈折する活性媒質を通過する際に偏光が解消されない放射フィールドに関して、規定の偏光分布のある放射フィールドだけが反射するように、偏光選択的な共振器鏡を構成することが可能になる。別の偏光がなされた放射フィールドは、この共振器鏡によって反射されないか、一部だけが反射される。こうした別の偏光がなされた放射フィールドは共振器ではもはや振動しない。偏光されたレーザ出力放射を生成するためのこの種のレーザ共振器は、活性媒質と 2 つの共振器鏡だけを有する。高反射の共振器鏡、または分離鏡をも偏光選択的に構成することが可能になる。しかし、コストの面から高反射の共振器鏡を偏光選択的に構成する。つまり規定の偏光状態だけを反射し、その他はすべて反射しないか、わずかに反射するようにする。分離鏡はもはや偏光選択的には構成されてい

$$\frac{dn_u}{dt} = P_w(n_g) - \frac{n_u}{\tau_u} - (\Phi_s + \Phi_p) \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l)$$

$$\frac{d\Phi_s}{dt} = \Phi_s \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l) - \frac{l_k}{l_c} \cdot \frac{\Phi_s}{\tau_s} + \frac{1}{\tau_{Depol}} \cdot (\Phi_p - \Phi_s) + \frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ul} \cdot \frac{l_k}{l_c}$$

$$\frac{d\Phi_p}{dt} = \Phi_p \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l) - \frac{l_k}{l_c} \cdot \frac{\Phi_p}{\tau_p} + \frac{1}{\tau_{Depol}} \cdot (\Phi_s - \Phi_p) + R \cdot \frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ul} \cdot \frac{l_k}{l_c}$$

【0031】 $\phi_s$  と  $\phi_p$  は s 偏光方向ないし p 偏光方向での容量単位ごとの光子の数量である。上のレーザレベルの寿命は  $\tau_u = 230 \mu s$  であり、低いレーザレベルの寿命は  $\tau_l = 30 ns$  である。 $\beta_{ul}$  と  $\beta_{ul}$  は「分枝」状態と表現され、数値 0.8 と 0.2 を有する。R

ない。シリンダ対称でポンピングされるロッド形態の固体レーザ媒質の場合、こうした放射は放射状に、または正接で偏光される。活性固体媒質を別の構成にしてポンプ源の位置を変えるならば、レーザ放射に別の局所的な偏光分布が生じる。偏光選択鏡はその形状に合わせて調整されねばならない。

【0027】次に、偏光鏡 5 と 20 の透過、および光学要素 37 に関して判定がなされる。レーザ水晶 3, 19 ないし 33 の熱複屈折に基づいて、互いに垂直な 2 つの偏光方向 s と p ないし 7s と 9p、23s と 25p ないし 47s と 45p の光子（フォトン）間で相互干渉がなされる。つまり 2 つの偏光方向 7s と 9p、23s と 25p ないし 47s と 45p は、偏光寿命  $T_{D.p.p.}$  で相互に結合されている。 $T_{D.p.p.}$  は、1 つの光子が別の偏光状態に変わる前の、ある偏光状態にある時間を示す 1 つの尺度である。

【0028】4 レベルシステムを前提にして、例えば、Nd:YAG 水晶の場合、波長  $1.064 \mu m$  に関して適用されるように、時間単位ごとに基本レベル（下つきの“g”で表示）で容量単位ごとのイオンの数量変化に関して次式が有効である。

【数 1】

$$\frac{dn_g}{dt} = -\frac{n_l}{\tau_l} - P_n(n_g) + \frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ug}$$

【0029】基本状態の低いレベル（下つきの“l”で表示）での、容量単位ごとのイオンの数量の時間的変化に関して次式が有効である。

【数 2】

$$\frac{dn_l}{dt} = -\frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ul} + (\Phi_s + \Phi_p) \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l) - \frac{n_l}{\tau_l}$$

【0030】 $N_u$  は、容量単位ごとの、上部励起されたレベルでのイオンの数量であり、 $N_l$  は低いレベルでの数量である。

【数 3】

は放射パラメータであり、瞬間的に求められる光子が共振器に残る確率を示す。 $R = 10^{-4}$  は光速度である。 $l_k$  はレーザ水晶の「ポンピングされた」長さであり、 $l_c$  は共振器長さであり、 $\sigma$  は励起されたエミッシヨンのための作用断面積であり、 $2.8 \times 10^{-19} cm^2$

$m^2$ である。共振器での光子の寿命は2つの偏光方向に関して次式で求められる。

【数4】

$$T_{s,p} = \frac{2 \cdot l_c}{c \cdot [V - \ln(1 - T_{s,p})]}$$

【0032】但し、 $V$ は内部損失であり、 $T_s$ および $T$

$$P_n(n_g) = \frac{P_p \cdot \eta_{trans}}{h \cdot v_p \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot l_k}$$

【0034】 $P_p$ はポンピング能力、 $\eta_{trans}$ はポンピング放射に関する光学伝播係数である。 $V_p$ はポンピング放射の周波数である。 $3.708 \times 10^{14} \text{ Hz}$ である。 $\sigma_{abs}$ はポンピング放射に関する吸収断面積であり、 $3 \times 10^{-28} \text{ mm}^2$ である。 $r_p$ はレーザ水晶の半径であり、2mmである。

【0035】偏光寿命 $T_{D,pol}$ を判定するために、レーザ水晶における熱誘導される複屈折を考慮する。一般的な分析モデルはM. Schmid他共著「温度分布の分析モデルとシリンダ対称加熱を伴うレーザロッドの熱複屈折」、J. Opt. Soc. Am. B; 17巻、8号、2000年8月、1398~1404ページに記載されている。一回の通過において偏光を変える光子の結合特性は次式の通りである。

【数6】

$$D_{Depol} = D_{biref} = \frac{1}{\pi \cdot r^2} \int_0^{r_{rod}} \int_0^{2\pi} b(r, \phi) f_{beam}(r) r d\phi dr$$

【0036】 $b(\gamma', \phi)$ は熱複屈折を示し、上記文献に従って算定できる。 $D_{biref}$ はレーザ放射内部の誘導された複屈折の平均値である。 $D_{biref}$ の数値は0から0.5の間にある。 $\lambda/4$ プレート21が共振器15にあるならばすべての光子は $90^\circ$ 偏光回転する。熱的に偏光解消されるため、 $\lambda/4$ プレート21で引き起こされた偏光回転の一部が相殺される。

【数7】

$$D_{Depol} = 1 - D_{biref}$$

$D_{D,pol}$ は0.5から1の間にある。

【0037】偏光寿命は次式で求められる。

【数8】

$$T_{Depol} = \frac{2 \cdot l_c}{c \cdot D_{Depol}}$$

バランス等式を数的に分析するために、ポンピング放射の空間分布とレーザ放射の空間的なエネルギー分布を考慮する。

【0038】以下の計算では、MathCadによるRung-Kutta-Methodの第4次数で行われる近似的な評価を問題にする。レーザ共振器の長さ $l_c$ は210mmである。レーザ水晶は長さ28.8mm

$p$ はs偏光方向ないしp偏光方向に関する偏光鏡の透過率を示す。p偏光での放射の一部だけが分離され、s偏光は完全に反射されるので、 $T_s = 0$ である。

【0033】関数 $P_n(n_g)$ は、時間単位ごとおよび容量単位ごとに吸収されたポンピング放射のあとのイオンの数量を示す。

【数5】

$$\left[ 1 - e^{-\sigma_{abs} \cdot n_g \cdot l_k} \right]$$

m、半径 $r_c$ は2mm。レーザ水晶の10mm( $l_k$ )はポンプライト放射 $P_p$ から放射される。レーザ水晶が均等に放射されることが前提である。内部損失 $V$ は0.05であり、光伝播係数 $\eta_{trans}$ は0.8である。

【0039】まず、偏光解消 $D_{D,pol}$ と偏光鏡20の透過率のレーザ出力 $P_{out}$ への影響を考察する( $T_s = 0$  定義に準拠)。ポンピング出力 $P_p$ は196W。

【0040】図5には、偏光鏡20の異なる透過率に関する結合特性の関数として、レーザ出力 $P_{out}$ がWで記載されている。p偏光のための透過率は常に0である。実線は透過率0.2に関して有効であり、長め破線は0.1の透過率に、点線は0.05の透過率に関して有効である。ここで言及する数的方法では、0.3以上の透過率は考慮できないだろう。上向きの矢印59aから59cはカーブ点を示し、このカーブ点でのp偏光 $T_p$ での光子の寿命は偏光寿命 $T_{D,pol}$ と同じである。図5の垂直に引かれている点線61はカーブ点を示し、カーブ点では $T_{D,pol} = T_s$ である。s偏光の透過率はゼロであるがそれでも、こうした偏光方向についても当然、共振器での偏光損失がある。

【0041】レーザ出力 $P_{out}$ は、 $T_{D,pol} > T_s$ の領域については偏光結合特性 $T_{D,pol}$ に依存する。しかし $T_{D,pol} < T_p$ については飽和領域もある。効率的な作業のためには $T_{D,pol} < T_p$ でなければならない。

【0042】 $T_{D,pol}$ が $T_p$ より小さいならば、共振器を出ていく光子が別の偏光方向の光子によって代替されるように、すばやく2つの偏光方向の間で相互干渉がなされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】熱複屈折するレーザ水晶を有する本発明のレーザ共振器の略図。

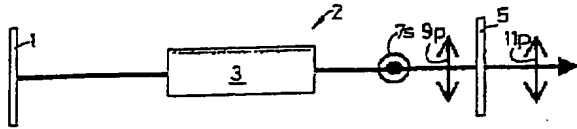
【図2】 $\lambda/4$ プレート付きの、図1に示したレーザ共振器の変形例。

【図3】傾斜した分離鏡のある本発明のレーザ共振器の別の変形例。

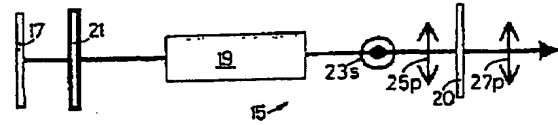
【図4】非線形の光学要素のある別の変形例。

【図5】図2に記載の本発明のレーザ共振器からのレーザ出力 $P_{out}$ 、偏光寿命 $T_{D,pol}$ 。

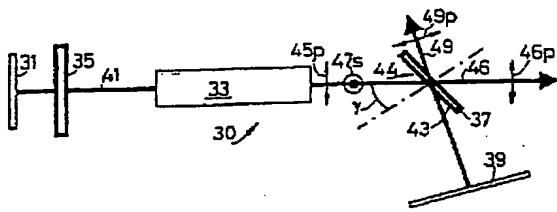
【図1】



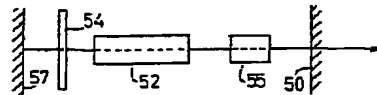
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

